

富士山山岳道路における車両通行規制に伴う二酸化炭素濃度の変化

¹ 和田龍一 ² 假屋美央

¹ 生命環境学部自然環境学科 ² 生命環境学部自然環境学科卒業生

The influence of CO₂ concentration by the traffic control on the mountain road of Mt. Fuji.

¹ Ryuichi WADA ² Mio KARIYA

Summary

The mountain road of Mt. Fuji, Fuji Subaru Line, is often heavily congested in summer. A large amount of air pollutants might be emitted from automobiles in the traffic congestions and at acceleration on slopes; however there was no observation of concentration of air pollutants at the mountain road. Information on pollutants concentration will be useful for the local government to consider the traffic control period. Carbon dioxide (CO₂) were observed from August 5 to 15 in 2012, in the traffic control period, and August 28 to September 7 using a CO₂ analyser and an electricity supply system which were installed in a monitoring car. The mean concentrations of CO₂ in and out of the traffic control period were measured as 395 ± 5 ppm. There were no obvious correlation between CO₂ concentration and the number of automobiles. Diurnal variation of CO₂ concentration was compared with NO_x concentration which was reported by Wada et al. We concluded the traffic control of Mt. Fuji gave small influence on CO₂ concentration at the mountain road.

キーワード：大気, 二酸化炭素, 山岳道路, 大気汚染, 富士山

Key words : Atmosphere, Carbon dioxide, Mountain road, Atmospheric pollution, Mt. Fuji

1. 緒言

二酸化炭素は温室効果気体であり、温暖化現象を引き起こしていると考えられている¹⁾。二酸化炭素の濃度は産業革命以前の 275-285 ppm から 2005 年には 379 ppm へ上昇し、この増加は、化石燃料の燃焼といった人為起源で発生する二酸化炭素が主な原因であると考えられ、増加量の約半分は森林といった陸域生態系により吸収されている¹⁾。

窒素酸化物は土壌起源や雷による大気化学反応による発生とともに、化石燃料を使用する際に、含有する窒素が原因で発生し、また高温である車のエンジン部にて、吸入大気中に含まれる窒素分子と酸素分子が化学反応を起こし発生する。窒素酸化物はオゾンを生成する要因の一つであり人体や植物の生長に悪影響をあたえ、光化学スモッグ、酸性雨の発生といった環境問題の要因となっている。窒素酸化物をさまざまな地域にて観測することは、環境問題を理解する上で重要である²⁴⁾。

富士スバルラインは富士山 5 合目まで続く山岳道路である。富士山を訪れる観光客にとって有用な道路である一方、多くの観光客が利用することから、繁忙期には激しい交通渋滞が起こる。この際、大量の排気ガスが車両から排出され、富士山の大気を汚染している可能性が考えられる。近年世界文化遺産である富士山周辺の自然を守ることの社

会的重要性が増しており、富士山山岳道路の車両入場規制およびその期間に関して議論する必要がある。国立公園などの車両規制期間の設定に当たっては、観光客の利便性や、観光資源としての富士山の活性化、さらに地域経済性など社会経済的影響を考慮した、多角的なデータを用いた注意深い議論が必要である⁵⁻⁷⁾。

国内における車両の入場規制が実施されている国立公園として、上高地、乗鞍岳等が挙げられる。年間を通した自家用車両の入場規制が実施され、バス等公共交通機関の入場が許可されている上高地では、山岳道路沿道の樹木衰退状況が調査され、山岳道路による沿道樹木への影響がないことが報告された⁸⁾。しかし、車両通行規制に伴う二酸化炭素および大気汚染物質濃度の変化は報告されていない。海外の国立公園において、自家用車の入場規制が検討され⁵⁾、公園内にて大気汚染物質の観測が実施された^{9, 10)}。Yellowstone 国立公園（米国）では、冬季の公園内部の移動手段であるスノーモービルから排出される大気汚染物質濃度の日変化が報告された^{11, 12)}。

富士山山岳道路では、繁忙期の交通渋滞を緩和する目的で、2012 年 8 月に車両規制を行ったが、規制期間の妥当性を評価するための二酸化炭素および大気汚染物質の調査はなされていない。車両規制が二酸化炭素濃度へ与える影響を知ることは、

車両規制期間を考える上で二酸化炭素排出量の削減による費用便益分析の面から、有用な知見となる。本研究では計測車両と二酸化炭素分析装置を用いて、5合目から1.7 km 下った富士山山岳道路沿道の地点における二酸化炭素濃度を計測し、車両通行規制が二酸化炭素濃度に与える影響について、考察を行った。

2. 研究方法

2.1 観測地

観測は、富士山五合目から1.7km 下った富士山山岳道路沿道に位置する路傍駐車場（北緯 35° 23' 31" 東経 138° 43' 19"）にて行った。道路は五合目へ向けて北東の方角に伸びており、計測地は道路の南側に位置する。富士山山岳道路における観測場所は、① 風の吹き抜けが強すぎず、大気がとどまっているか、② 繁忙期における交通渋滞の影響を観



図 1. 富士山北麓地域の地図（国土地理院地図データ）
点線が富士山山岳道路富士スパルライン、
○が富士山山岳道路沿道の観測地を示す。

測できる場所であるかを考慮して決定した。観測地は夏季の繁忙期には、数時間におよぶ交通渋滞が観測される場所である。観測地を図 1 に示す。

2.2 観測方法

富士山山岳道路における二酸化炭素濃度の観測は2012年8月5日から8月15日までの車両規制期間内および8月28日から9月7日までの車両規制期間外の合計20日間実施した。富士山山岳道路では、車両規制期間中は一般車両の入場は規制されるが、観光バス・路線バス・タクシーといった公共性の高い車両は、通行が可能である。二酸化炭素の計測は二酸化炭素分析装置（T&D 社：TR76Ui）を通風管に入れ、計測車両屋上に設置して行った。二酸化炭素分析装置を稼働させるための電力は、鉛蓄バッテリー（ボイジャー社：M31MFACD）とインバータ（Power 社：TITE FI-S1003）を用いて供給した。気温と湿度の計測は、通風管に設置した温湿度計（T&D 社：TR76Ui）を、風向と風速の計測はプロペラ式風向風速計（英弘精機社：P45940EKO）を用いた。観測に用いた計測車両、および分析装置を設置した車両屋上の写真を図 2 に示す。

3. 結果と考察

富士山山岳道路における風速、風向、気温、湿度を図 3 に示す。観測期間中、最大風速は 3.0 m s^{-1} 、平均風速は 0.4 m s^{-1} であった。風速は小さく、比較的風通しが悪い場所であったことが推察される。風向は北を 0° 、時計回りに1周を 360° として方向を示した。夜間は南西よりの山頂から吹き下ろす風が、昼間は東よりの山麓から吹きあげた風が観測された。気温は 10°C から 30°C を示し、湿度は夜間



図 2. (左) 富士山山岳道路沿道における計測車両の写真：(右) 計測車両屋上の観測装置の写真

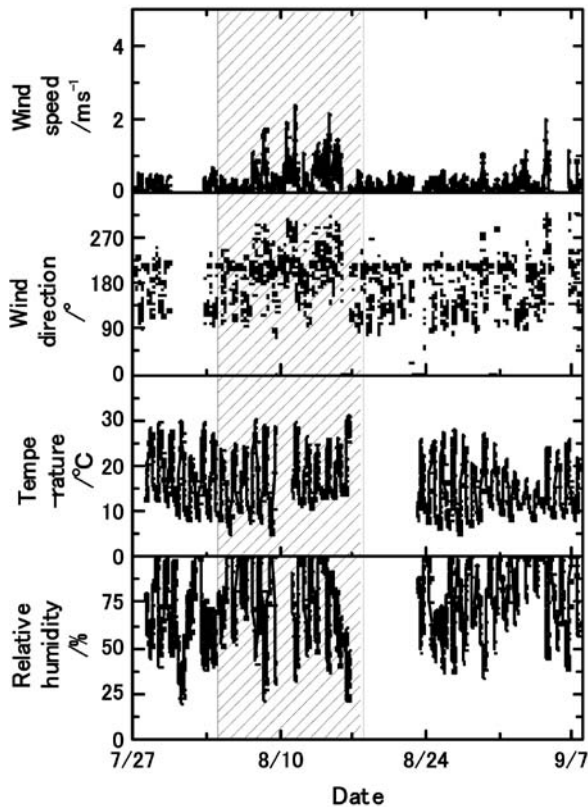


図 3. 富士山山岳道路における風向、風速、気温、湿度。
時間分解能は 30 分。斜線は車両規制期間を示す。

に 100%に近い値を示す日が多く観測された。風向と風速は、7 月 30 日 7:00 から 8 月 2 日 14:00 と 9 月 4 日 20:00 から 9 月 6 日 15:00 にかけて、電力の不足によりデータ欠損が生じた。気温と湿度は 8 月 9 日 15:00 から 8 月 11 日 2:00 と 8 月 16 日 16:00 から 8 月 25 日 5:00 にかけて、観測器具の不具合によりデータ欠損が生じた。

二酸化炭素 (CO_2) の富士山山岳道路沿道における車両規制期間内 (2012 年 8 月 5 日～15 日) と車両規制期間外 (2012 年 8 月 28 日～9 月 7 日) の観測結果を図 4 に示す。観測値は 1 時間平均値を体積比 (ppmv) にて示した。分析装置は、 CO_2 濃度既知の標準試料を用いて、観測開始前に校正した。計測誤差は $\pm 5\text{ppm}$ である。 CO_2 濃度は、昼間低く、夜間高い日変化を示した。これは、昼間は山岳内の森林樹木が光合成を行うことにより、 CO_2 濃度が下がり、夜間は森林樹木の呼吸により CO_2 濃度が上昇するためである。さらに夜間は、大気が安定であり、接地境界層の高度が下がることで CO_2 濃度が上昇すると考えられる¹³⁾。車両規制期間内外における CO_2 濃度の 1 時間最大値および平均値を表 1 に示す。最大値は、規制期間内では、 410 ± 5

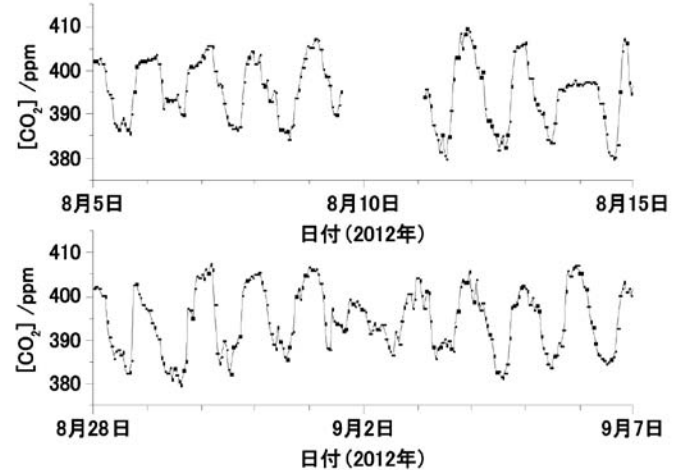


図 4. 富士山山岳道路富士スバルラインにおける CO_2 濃度の観測結果。

(上) 2012 年 8 月 5 日から 8 月 15 日の車両規制期間。
(下) 2012 年 8 月 28 日から 9 月 7 日の車両規制期間外。

表 1 車両規制期間外および車両規制期間内における CO_2 濃度の 1 時間平均最大値、1 時間平均最小値、および平均値。

	規制期間内 8/5～8/15 / ppm	規制期間外 8/28～9/7 / ppm
最大値 (1 時間平均)	410 ± 5	408 ± 5
最小値 (1 時間平均)	380 ± 5	380 ± 5
平均値	395 ± 5	395 ± 5

ppm、規制期間外では、 $408 \pm 5\text{ppm}$ であった。平均値は、規制期間内外ともに、 $395 \pm 5\text{ppm}$ であった。車両規制期間内外の CO_2 濃度の最大値および平均値は誤差範囲内で同じ値であった。富士山山岳道路における車両規制が、観測地点における CO_2 濃度に与える影響は小さいことが示され、富士山山岳道路の車両規制期間を考慮する上での有用な知見となると考えられた。

富士スバルラインに入場する車両台数と CO_2 濃度の関係を調べた。車両台数は、富士山山岳道路入口にて山梨県道路公社により調査された、1 時間毎のデータを使用した。規制期間内 (2012 年 8 月 5 日～8 月 15 日) と規制期間外 (2012 年 8 月 28 日～9 月 7 日) における車両台数を横軸、 CO_2 濃度を縦軸にとった図を図 5 に示す。車両規制期間内では、1 時間当たりに入場する車両台数は最大 150 台であった。車両規制期間内のデータから得られた最

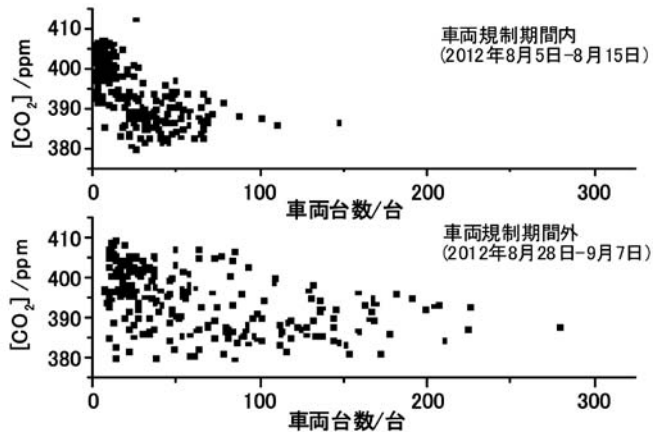


図 5. 富士山山岳道路での車両台数と CO₂ 濃度の関係。
(上) 2012 年 8 月 5 日から 8 月 15 日の車両規制期間。
(下) 2012 年 8 月 28 日から 9 月 7 日の車両規制期間外。

小二乗法による近似直線の傾きは -0.2 ± 0.1 ppm/台、切片は 400 ± 1 ppm、相関係数は -0.57 ($p < 0.05$) であった。一方車両規制期間外では、1 時間当たりに入場する車両台数は最大 280 台であった。車両規制期間外のデータから得られた近似直線の傾きは -0.1 ± 0.1 ppm/台、切片は 399 ± 1 ppm、相関係数は -0.44 ($p < 0.05$) であった。規制期間内では、大型車両台数の割合が増えるが、規制期間内外の近似直線の傾き、切片に違いは見られず、大型車両増加による CO₂ 濃度への影響は観測されなかった。車両規制期間内外の相関係数が負の値を示した。車両台数の多い時間帯は光合成が行われる昼間であり、車両から排出された CO₂ の寄与よりも森林樹木の光合成により吸収される CO₂ の寄与のほうが大きいためと考えられた。

2012 年 9 月 6 日～9 月 7 日における CO₂ 濃度と同じ場所で観測された大気汚染物質の一種である窒素酸化物 (NO、NO₂) 濃度の日変化を図 6 に示す^{14、15}。窒素酸化物は車両から排出されることが知られており、富士山山岳道路の車両規制期間内外で窒素酸化物濃度に大きな違いがあることが報告された^{14、15}。窒素酸化物濃度は、9 月 6 日 15 時から 16 時にかけて NO が 3 ppb、NO₂ が 5 ppb とピーク値を示し、その後時間の経過とともに減少した。21 時以降の夜間では NO、NO₂ ともに 1ppb 未満であった。翌日 9 月 7 日 7 時より NO、NO₂ 濃度は再び上昇し、9 時から 11 時に NO が 14 ppb、NO₂ が 10 ppb と最大値を示した。一方 CO₂ 濃度は日没が始まる 9 月 6 日 17 時ごろから増加し始め、18 時から翌日 9 月 7 日 7 時ごろまで約 400ppm を示した。その後時間の経過とともに減少した。窒素酸化物濃度の変化は、車両台数が増加した 9:

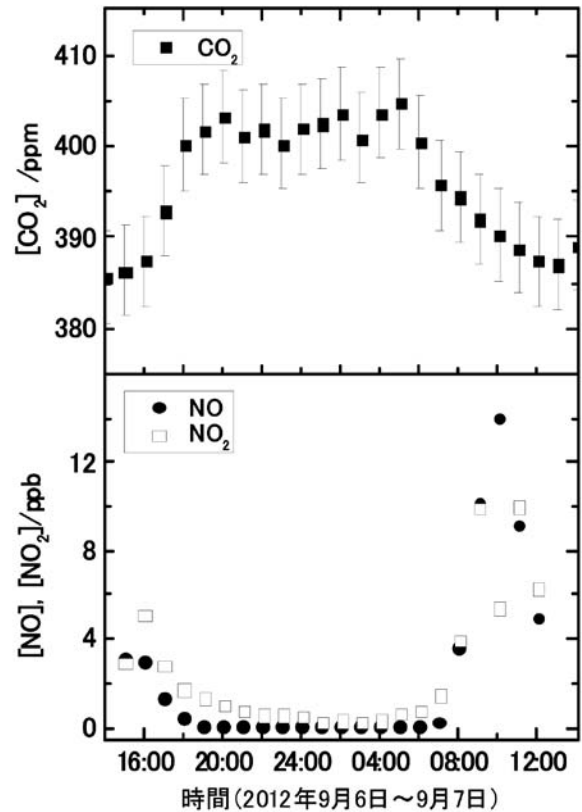


図 6. 2012 年 9 月 6 日 14:00 から 9 月 7 日 14:00 の CO₂ 濃度と NO_x 濃度変化の比較。
(上) CO₂ 濃度 (下) NO_x 濃度¹⁴⁾。
エラーバーは計測誤差を示す。

00-11:00 に明瞭なピークが観測されているのに対し、CO₂ では 9:00-11:00 に明瞭な濃度変化は観測されなかった。富士山麓森林内部における窒素酸化物濃度は、数 ppb と低いことから^{16、17}、車両から排出された窒素酸化物による数 10ppb の濃度変化は明瞭に観測される一方、CO₂ は、大気中の濃度が高く、また森林樹木の光合成や呼吸が大気中の CO₂ 濃度へ及ぼす影響が大きいことから、車両から排出された CO₂ によって変化する観測地点における大気中 CO₂ 濃度変化は、森林樹木が及ぼす CO₂ 濃度変化に比べて相対的に小さくなり、観測されなかったと考えられた。

4. まとめ

繁忙期の交通渋滞により世界文化遺産である富士山の大気環境を汚染している可能性が考えられる富士山山岳道路富士 5 合目付近の沿道における二酸化炭素 (CO₂) 濃度を 2012 年 8 月 5 日～8 月 15 日 (車両通行規制期間内) および 2012 年 8 月 28 日～9 月 7 日 (車両通行規制期間外) の合計 20 日間実施した。CO₂ の観測は鉛蓄バッテリーを用いた電力供給系と二酸化炭素分析装置を積載した計測車両を用いた。

富士山山岳道路への一般車両の入場が規制される車両規制期間内の観測地点における CO₂ の平均濃度は 395 ± 5 ppm であり、車両規制期間外の CO₂ 平均濃度 (395 ± 5 ppm) と誤差範囲で同じ値であった。富士山山岳道路における車両通行規制が、観測地点の CO₂ 濃度に与える影響は小さいことが示された。富士山山岳道路への車両入場台数と富士山山岳道路沿道における CO₂ 濃度の関係を調べた。車両規制期間内のデータから得られた近似曲線の傾きは -0.2 ± 0.1 ppm/台、切片は 400 ± 1 ppm、相関係数は -0.57 ($p < 0.05$) であった。一方車両規制期間内のデータから得られた近似曲線の傾きは -0.1 ± 0.1 ppm/台、切片は 399 ± 1 ppm、相関係数は -0.44 ($p < 0.05$) であった。規制期間内では、大型車両台数の割合が増えるが、規制期間内外の近似直線の傾き、切片に違いは見られず、大型車両増加による CO₂ 濃度への影響は観測されなかった。2012 年 9 月 6 日～9 月 7 日の窒素酸化物濃度と CO₂ 濃度の変化を比較した。窒素酸化物濃度は、車両台数の多い、9:00-11:00 に明瞭なピークを示したのに対し、CO₂ 濃度に明瞭な濃度変化は観測されなかった。富士山麓森林における窒素酸化物濃度は、数 ppb と低い濃度であり^{16, 17)}、車両から排出された窒素酸化物による数 10ppb の変化は明瞭に観測される。一方 CO₂ は、大気中の濃度が高く、また森林樹木の光合成や呼吸が大気中の CO₂ 濃度へ及ぼす影響が大きいことから、車両から排出された CO₂ によって変化する観測地点における大気中 CO₂ 濃度変化は、森林樹木が及ぼす CO₂ 濃度変化に比べて相対的に小さくなり、観測されなかったと考えられた。

富士山山岳道路における車両通行規制が、沿道の観測地点における CO₂ 濃度に与える影響は小さいことが本観測により示された。今後富士山山岳道路の車両通行規制期間を考慮する上で、有用な知見となると考えられた。

謝辞

観測の実施にあたり、森林総合研究所 中井裕一郎博士、高梨聡博士、富士山科学研究所 中野隆志博士、静岡県立大学 谷 晃准教授、農業環境技術研究所 米村正一郎博士、児玉直美博士、山梨県道路公社 遠藤一浩様にご協力頂いた。本研究の一部は公益財団法人やまなし産業支援機構「調査研究事業」および名古屋大学太陽地球環境研究所「地上ネットワーク観測大型共同研究」の支援により実施された。記して謝意を表する。

引用および参考文献

1. Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D.W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D.C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M. and Van Dorland, R. : Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.) , *Climate change 2007: The physical science basis*. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge university press, Cambridge and New York, 2007, pp.129-234.
2. 秋元肇, 河村公隆, 中澤高清, 鷺田信明: *対流圏大気の化学と地球環境*, 学会出版センター, 東京, 2002.
3. 小池真: 今後の日本の大気化学研究, 日本学会会議 IGAC 小委員会記録文書: 79-81, 2008.
4. G.W.vanLoon, S.L.Duffy: *Environmental Chemistry*, Oxford University Press, London, 73-102, 2011.
5. D.D.White: An interpretive study of Yosemite National Park visitors' perspectives toward alternative transportation in Yosemite Valley, *Environmental Management*, 39:50-62, 2007.
6. 山口誠, 鯉江康正, 石川隆司: 自動車交通による環境変化が地域社会経済に与えるインパクトの軽量経済学的分析, *地域学研究*, 22: 1-17, 1992.
7. F.Bonnieux, P.Rainelli: *Contingent Valuation Methodology and the EU Institutional Framework*, Ed Bateman, I.J., Willis, K.G., *Valuing Environmental Preferences: Theory and Practice of the Contingent Valuation Method in the US, EU, and developing Countries*, Oxford University Press, Chapter 17, 585-612, London, 2001.
8. 尾関雅章, 大塚孝一: 上高地公園線周辺の森林植生および樹木衰退状況, 長野県環境保全研究所研究報告, 2: 69-74, 2006.
9. A.Bytnerowicz, M.Tausz, R.Alonso, D.Jones, R.Johnson, N.Grulke: Summer-time distribution of air pollutants in Sequoia National Park, California, *Environmental Pollution*, 118:187-203, 2002.

10. M.D.Gibson, M.R.Heal, Z.Li, J. Kuchta, G.H.King, A.Hayes, S.Lambert: The spatial and seasonal variation of nitrogen dioxide and sulfur dioxide in Cape Breton Highlands National Park, Canada, and the association with lichen abundance, *Atmospheric Environment*, 64: 303-311, 2013.
11. G.A.Bishop, J.A.Morris, D.H.Stedman: Snowmobile contributions to mobile source emissions in Yellowstone national park, *Environmental Science & Technology*, 35: 2874-2881, 2001.
12. Y.Zhou, A.Shively, H.Mao, R.S.Russo, B. Pape, R.N. Mower, R.Talbot, B.C.Sive: Air toxic emissions from snowmobiles in Yellowstone National Park, *Environmental Science & Technology*, 44: 222-228, 2010.
13. R.Wada, J.K.Pearce, T.Nakayama, Y.Matsumi, T.Hiyama, G.Inoue, T.Shibata: Observation of carbon and oxygen isotopic compositions of CO₂ at an urban site in Nagoya using Mid-IR laser absorption spectroscopy, *Atmospheric Environment*, 45: 1168-1174, 2011.
14. 和田龍一, 織田風, 假屋美央, 中井裕一郎, 高梨聡, 中野隆志, 米村正一郎, 児玉直美, 谷 晃, 遠藤一浩: 富士山山岳道路沿道における車両通行規制に伴う窒素酸化物の濃度変化, 大気環境学会誌, 印刷中.
15. 和田龍一: 富士山山岳道路における大気汚染物質, 化学と教育, 印刷中.
16. 和田龍一, 稲葉直人, 中井裕一郎, 高梨聡, 北村兼三, 中野隆志: 富士山麓森林大気微量気体計測システムを用いた森林と市街地における窒素酸化物・オゾン濃度変化の比較, 帝京科学大学紀要, 9: 109-116, 2013.
17. 和田龍一, 尾崎裕希, 中井裕一郎, 高梨聡, 中野隆志, 谷 晃: 富士山麓森林における窒素酸化物とオゾンの季節変化および日変化, 富士山研究, 8: 33-38, 2014.